

先进星载热发射和反射辐射仪 (ASTER) ——地质学家的最佳选择

陈 江^{1,2}, 付建飞³

CHEN Jiang^{1,2}, FU Jian-fei³

1. 中国地质科学院, 北京 100037;

2. 中国地质调查局沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110032;

3. 东北大学, 辽宁 沈阳 110004

1. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources,
China Geological Survey, Shenyang 110032, Liaoning, China;*

3. *Northeast University, Shenyang 110004, Liaoning, China*

摘要: 航天遥感技术的发展为地质学家提供了大量可使用的遥感数据。在这些遥感数据中, ASTER具有从可见光到热红外的较宽的波谱范围, 能满足对大多数矿物、岩石划分的需要。ASTER的多波段数据除了可以用传统的数据处理方法处理之外, 还可以利用高光谱的岩矿信息识别与提取技术进行数据处理, 得到更精确的矿物、岩石分类结果。利用GIS评价模型处理ASTER遥感解译的蚀变岩石信息, 可以得到精确的遥感异常, 从而指导找矿勘查工作。

关键词: ASTER; 高光谱; 蚀变; 岩石; GIS

中图分类号: P631.8

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2006)05-0649-04

Chen J, Fu J F. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)—The best choice for geologists. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(5): 649–652

Abstract: The development of the space remote sensing technology provides a wealth of usable remote sensing data for geologist. In these remote sensing data ASTER has broad spectral bandwidths from VNIR to TIR and can meet the requirements for classifications of most minerals and rocks. In addition to the conventional data processing methods, the hyperspectral techniques for rock and mineral information recognition and extraction may also be used to process the multiband data of ASTER and yield more accurate mineral and rock classification results. The GIS evaluation model may be used to process altered rock information interpreted by ASTER, which may produce accurate remote sensing anomalies and guide mineral exploration.

Key words: ASTER; hyperspectral; alteration; rock; GIS

遥感作为一门新兴的综合性探测技术科学, 用于地质研究已有40多年的历史了。自从1972年美国宇航局发射了LANDSAT-1以来, 美国、俄罗斯、加拿大、日本、印度和中国先后建立了各自的遥感系统, 所有这些系统提供了大量从太空向地球观测而获取的有价值的数据和图片。在如此众多的

遥感数据中, 哪些遥感数据是最适合遥感地质学家解决实际地质问题的呢? 遥感数据的空间、波段分辨率及价格等都是人们在开展遥感解译工作之前首先要考虑的问题。

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer, 即先进星载热发射和反射辐射仪) 是

收稿日期: 2005-03-10; 修订日期: 2006-02-24

基金项目: 《西部优势矿产资源勘查关键技术研究》项目所属课题《三江中北段深切割区铜金多金属矿床综合勘查技术方法及示范研究》(No.2003BA612A-05) 和中国地质科学院博士后基金资助。

作者简介: 陈江(1971-), 男, 高级工程师, 博士, 从事地质矿产勘查与“3S”研究工作。E-mail: hardrock30@163.com

为了对地球表面物质成分进行大比例尺填图而设计的,它有宽的从可见光到热红外光的光谱覆盖范围和高的空间分辨率。ASTER的14个波段被分成3个不同的子系统,每个子系统有着不同的空间分辨率:在可见光—近红外光(VNIR)范围内有3个波段(15 m),有6个在短波—红外光(SWIR)范围内,空间分辨率为30 m,在热红外光(TIR)范围内有5个波段(90 m)。ASTER卫星感受器具有的独特特征和全球覆盖性特点,使其在地质学和矿产勘查方面有着明显的优势。Clark等^[1]指出,在发现地质特征方面,ASTER与低光谱分辨率的LANDSAT-TM相比有较强的优势,特别是在短波红外范围内ASTER提供了更高的光谱分辨率^[2]。ASTER多光谱数据被用在矿物学的研究方面^[3-5],如进行热液蚀变矿物填图和硅酸盐、碳酸盐岩石填图^[6]。还被用来进行火山岩研究、监测海岸带等^[7]。目前越来越多的遥感地质学家利用ASTER遥感数据进行地质、环境等解译和监测工作。

ASTER的3个子系统从不同的侧面为地质学家提供了了解地球的可能性。ASTER可见光—红外(VNIR)子系统的空间分辨率为15 m。该系统能够进行假彩色合成、图像增强处理等,提高分辨地质体和地质现象的能力;研究线状、环状和块状影像,提取地质构造和岩浆岩、沉积岩、变质岩三大岩类的时空分布信息;可以对图幅内的褶皱构造和断裂构造进行初步研究。

利用短波—红外子系统和热红外子系统可以进行岩石矿物的分类。下面分别介绍利用ASTER的相关波段进行矿物、岩石等地质信息的提取方法和在矿产资源勘查中的应用。

1 利用高光谱数据处理方法处理ASTER遥感数据

高光谱遥感途径是由很高光谱分辨率遥感器发展而来的,其主要基于分光镜的方法,在像素光谱与已知材料的参照光谱之间做出定量的对比。它同样也适用于ASTER多光谱遥感^[8,9],但要求具有矿物光谱学的基础知识和先进的软件,最初要进行大气校正、参照光谱,与多光谱法相比要复杂得多。

高光谱遥感数据处理方法有很多种,如光谱角填图法、二进制编码、波谱特征拟合、线性波谱分离等。浦瑞良等^[10]出版了《高光谱遥感及应用》一书,介绍了关于高光谱遥感在地质调查中应用的主要分析技术。在这些方法中最为常用的是光谱角填图法(SAM)。光谱角填图法是一种基于自身的波谱分类,用 n 维角度将像元与参照波谱匹配。这一算法是通过计算波谱间的角度(将它们处理为维数等于波段数的空间矢量),判定2个波谱间的类似度。角度越小,则两波谱之间的相关系数越大,也就是所测像元最有可能是参照物。利用光谱角填图法的最大优点是可以更充分地应用多个波段数据。

笔者曾利用西班牙Gabo de Gata地区的ASTER数据进行了多矿物填图。图1是对该地区的明矾石、高岭石和伊利石进行的遥感矿物填图结果。经过野外验证,所预测的矿物都

在野外得以发现。在该区也开展了航空高光谱遥感测量,对高光谱数据(HyMap)利用光谱角填图法进行了同样3种矿物的填图(图2)。对照图1和图2可以看出,ASTER遥感数据能做到蚀变分级,并能对某一矿物进行填图。

2 蚀变矿物填图

在短波—红外(SWIR)子系统中,各矿物在不同的波段具有不同的吸收波谱特征,波段5和波段6主要是含Al(OH)的矿物如高岭石、地开石、伊利石、白云母、明矾石等的吸收光谱范围。波段8和波段10主要是硅酸盐矿物的吸收波段,这些波段对长石类、橄榄石类和辉石类矿物有吸收特征。碳酸盐类矿物的吸收特征主要集中于波段7、8和9。不同岩石类型是由不同矿物集合体组成的,因此不同波段部分地体现了主要矿物的波谱特征。

通常来说,地质调查区很少有相关的矿物蚀变填图资料。对于一个未知区,如何能在未获得野外蚀变矿物波谱的情况下进行精确的蚀变矿物填图呢?这需要利用高光谱的处理方法,经过一系列的处理过程才能得到。根据可获得的波谱库确定ASTER影像中可以代表蚀变矿物吸收特征的波段比值;根据波段比值的大小确定蚀变强度;在蚀变强度较高的地区进行线性波谱分离,寻找端元矿物波谱;对端元矿物波谱进行波谱匹配分析,确定丰度值较高的矿物类型;再根据匹配后的波谱利用波谱库中纯矿物波谱进行斑岩蚀变矿物填图,从而可以帮助寻找有利找矿的远景区和勘查靶区。

利用上述处理方法,对云南“三江”地区ASTER遥感数据进行了处理。三江地区存在着很多斑岩型铜矿床,斑岩型铜矿床主要以“洛厄尔—伯特”矿床模式存在,由一系列受到矿化和蚀变的向上汇聚的层圈组成。通过波谱分析的方法,对绢云母化、绿泥石化、绿帘石化等进行矿物填图,所选择的端元矿物为绿泥石、绿帘石、铁绿泥石、阳起石、钠云母、细鳞云母6种矿物,其中前4个矿物端元用来圈定青盘岩化带,后2个矿物则试着用来圈定绢云母化带。以西范坪铜矿区为例,利用光谱角法对这6种端元矿物进行矿物填图。设置所有的阈值为5%,得到的分类图像如图3所示。对比已知矿区——西范坪矿区的矿化蚀变情况,可以发现利用ASTER解译的蚀变结果与矿区地质填图的蚀变相吻合。

3 岩石化学成分填图

在遥感领域,8.0~14.0 μm 的热红外波段是重要的大气窗口,在对地观测系统中有重要的应用价值。许多造岩矿物在热红外波段都具有特征的光谱辐射带,这些特征的光谱发射率带是利用多光谱遥感技术进行岩石识别和分类的基础。特别是对于一些构成岩石的重要矿物,如长石、石英等,在近红外波段并没有明显的特征,因此热红外波段的光谱信息显得更为重要。

ASTER具有5个热红外波段,通过利用已知的热红外波谱库(ASU波谱库)进行分析,得出 $E13 \times E14 / (E10 \times E12)$ (其

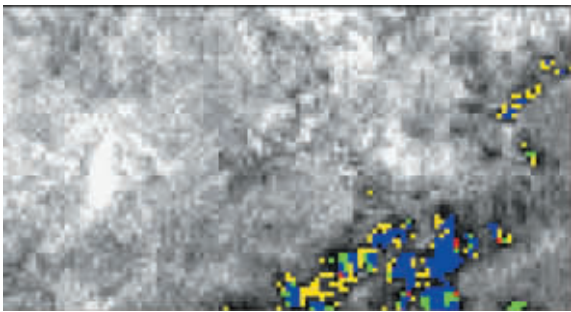


图1 在Rodalquilar地区利用光谱角法对ASTER数据进行的明矾石、高岭石、地开石和伊利石填图

Fig.1 ASTER data-based mapping of alunite,

kaolinite,dickite and illite with the spectral

angle method (SAM) in the Rodalquilar area, Spain

红色像元为明矾石,绿色为地开石,蓝色为高岭石,黄色为伊利石。波段范围是SWIR的6个波段,利用光谱角法,各矿物的阈值均采用2%,图像范围与图2相同

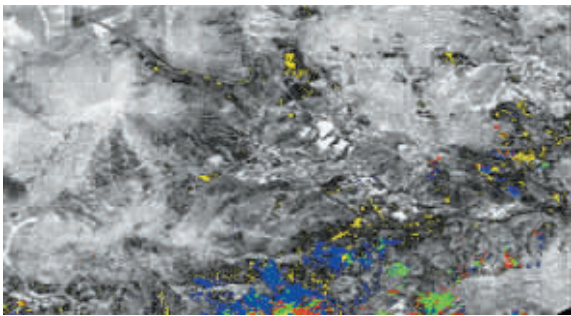


图2 在Rodalquilar地区利用光谱角法对HyMap数据进行的明矾石、高岭石、地开石和伊利石填图

Fig.2 HyMap data-based mapping of alunite,kaolinite, dickite and illite with SAM in the Rodalquilar area

图像为6m分辨率,其中波段范围为98~126,波谱范围为2.009~2.4830μm,红色为明矾石,绿色为地开石,蓝色为高岭石,黄色为伊利石。端元矿物采用的是采自野外的纯矿物。

其中利用PIMA所分析的含量均为100%,光谱角的阈值为2%

中E1X为波段1X的发射率数值)与SiO₂含量的相关性最好,相关系数达到0.49885。其波段比值与SiO₂含量的二维散点见图4。

运用最小二乘匹配法的对数函数进行数据模拟,其函数为:

$$\text{SiO}_2=28.760503921704\times\log(6.560448646402\times E13\times E14/(E10\times E12))$$

众所周知,岩浆岩的分类是建立在SiO₂含量的基础上的。超基性岩类SiO₂<45%;基性岩类SiO₂=45%~53%;中性岩类SiO₂=53%~66%;酸性岩类SiO₂>66%,对SiO₂含量的成功标定能够确定出不同的岩石类别。如果从成矿的角度来考虑,大多数矿床的形成与硅化有密切的关系,石英脉、硅质岩等常为野外的重要找矿标志,因此SiO₂含量的确定不但有重要的地质意义,还有重要的矿产勘查与找矿预测意义。

仍以西范坪矿区为例,利用上述公式进行的SiO₂含量填图结果表明,该区大多数出露的石英二长斑岩体(其石英含量介于60%~68%之间)均与上述公式计算出的SiO₂含量范围一致。因此证明可以利用ASTER的热红外数据进行SiO₂含量的确定。

4 利用GIS技术方法进行
矿产资源预测

利用地理信息系统(GIS)可以对上述的蚀变矿物、岩石填图结果进行有机的综合分析,从而可以进行预测。一般常用知识驱动模型进行处理。其中常见的知识驱动模型包括布尔逻辑模型、索引叠加模型、模糊逻辑模型等^[1]。对于蚀变矿物与岩石化

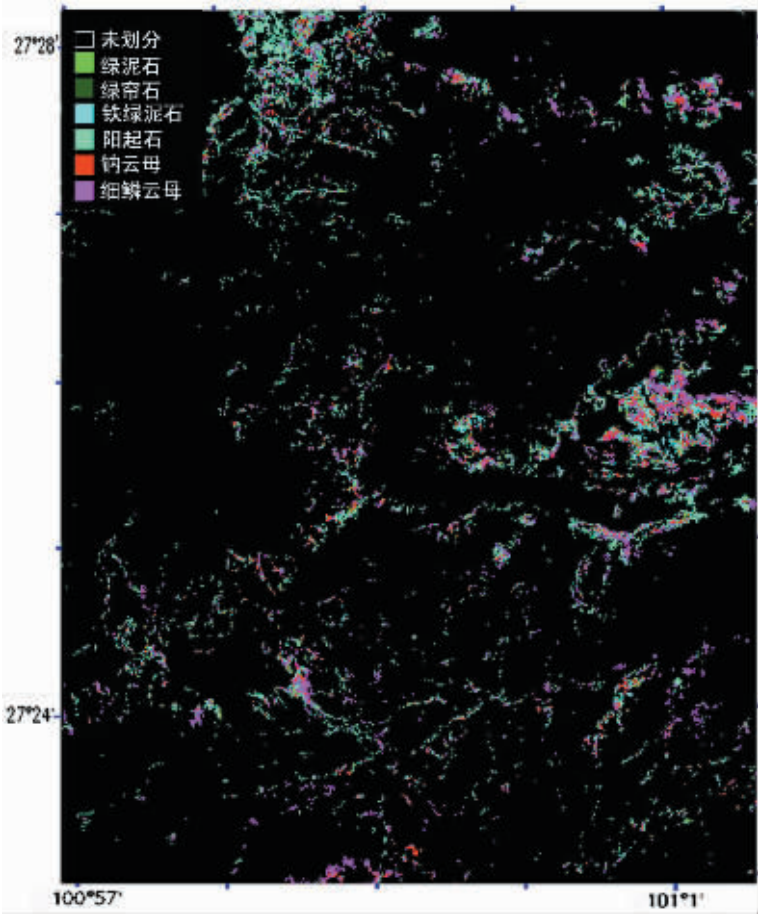


图3 在西范坪矿区利用光谱角法进行斑岩蚀变矿物填图的结果

Fig.3 Results of mapping of alteration minerals of porphyry in the Xifanping ore district using SAM

6种蚀变矿物填图,绿色—绿泥石;墨绿色—绿帘石;蓝色—铁绿泥石;蓝绿色—阳起石;红色—钠云母;粉色—细鳞云母

学成分填图结果可以进行各个模型的混合处理,即可以先进行模糊逻辑模型处理,然后再进行索引叠加模型等处理。

在对四川省盐源—木里地区进行遥感蚀变矿物的填图中,对 SiO_2 含量填图结果进行了各种模型处理,划分出2条矿化蚀变带(基于遥感数据的)。通过野外实地检查,在这2条蚀变带上均发现了铜矿化,特别是在北东向蚀变带中发现了砂岩型铜矿化。遥感数据获得的异常表明,该区是一个砂岩型铜矿的矿化集中区,也证明遥感可以作为一个独立的学科进行有效的矿产勘查工作。

5 结 论

总之,在当前高光谱遥感数据还不能全面获得的情况下,ASTER遥感数据可以满足地质学家的要求。ASTER可见光—红外(VNIR)子系统能够提高分辨地质体和地质现象的能力,可以进行岩石、构造的研究。采用高光谱遥感数据的处理方法,可以进行与矿化有关的蚀变矿物填图。对热红外遥感数据可以进行岩石成分(如 SiO_2 含量)填图。将这些要素进行GIS综合分析,可以为找矿勘查提供找矿靶区,提高找矿勘查的成功率。所有这些特点都说明ASTER数据在找矿勘查中有着很好的应用前景和价值。

参考文献:

- [1]Clark R N, Swayze G A. Mapping minerals, amorphous materials, environmental materials, vegetation, water, ice, and snow, and other materials[A]. In: The USGS Tricorder Algorithm: in Summaries of the Fifth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop[C]. JPL Publication, 1995.39–40.
- [2]Kruse F A, Perry S I, Caballero A. Integrated Multispectral and Hyperspectral Mineral Mapping, Los Menucos. Rio Negro[A]. In: Part II: EO-1 Hyperion/AVIRIS Comparisons and Landsat TM/ASTER Extensions[C]. Argentina, 2002.
- [3]Abrams M, Hook S J. Simulated ASTER data for geologic studies[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1995, 33(3): 692–699.
- [4]Rowan R C, Mars J C. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California Area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84: 305–366.
- [5]Azcurra D, Castro Godoy S, Kaku M, et al. Procesamiento de productos ASTER del area de Sierra de Fatima[A]. In: Provincia

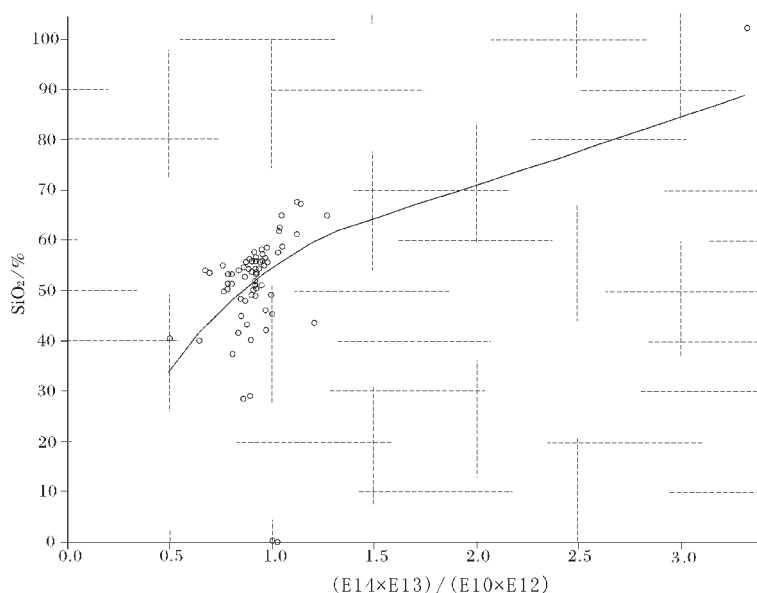


图4 波段发射率组合比值与 SiO_2 含量的散点图和函数模拟曲线

Fig.4 Scatterplot and function simulation

of the spectral emissivity ratios and SiO_2 contents

- de la Rioja Republica de Argentina. Anais XI SBSR. Belo Horizonte[C]. Brazil, INPE, 2003. 815–822.
- [6]Hewson R D, Cudahy T J, Huntington J F. Geologic and alteration mapping at Mt Fitton, South Australia, using ASTER satellite-borne data[A]. In: Proceedings IEEE 2001 International Conference on Geoscience and Remote Sensing[C]. Sydney, 2001. 9–13.
- [7]Yamaguchi Y, Fujisada H, Kahle A B, et al. ASTER instrument performance, operational status, and application to earth sciences[A]. In: Proceedings IEEE 2001 International Conference on Geoscience and Remote Sensing[C]. Sydney, 2001.
- [8]Van der Meer F, De Jong S M. Improving the results of spectral unmixing of Landsat thematic Mapper imagery by enhancing the orthogonality of end-members[J]. Int. J. Remote Sensing, 2000, 21(15):2781–2799.
- [9]Ferrier G, White K, Griffiths G, et al. The mapping of hydrothermal alteration zones on the island of Lesvos, Greece using an integrated remote sensing dataset[M]. Int. J. Remote Sensing, 2001. 1–16.
- [10]浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.81–98.
- [11]Bonham-Carter G F. Geographic information systems for geoscientists modelling with GIS[M]. Pergamon, Ontario, 1994.1–23.